

**ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХО-
ДОВОЇ ЧАСТИНИ НА КУРСОВУ СТІЙКІСТЬ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО
ЗАСОБУ**

Зміст

	Стор.
Вступ	3
Розділ 1. Напрями забезпечення курсової стійкості автомобіля	5
Розділ 2. Технічний стан автомобільних шин і його вплив на керованість та стійкість руху автомобіля	16
2.1 Вплив зносу протектора на керованість та стійкість руху автомобіля	16
2.2 Нові концепції технології автомобільних шин щодо підвищення безпеки автомобілів	23
Висновки	27
Список літератури	28

Вступ

Шина – це еластичний виріб, що має тороїдальну форму (кільця з різною формою площі перетину), виконаний з матеріалів, які характеризуються зовсім різною жорсткістю, і призначений для організації силової взаємодії автомобіля з дорогою, з метою раціонального руху транспортного засобу. Шина – останній елемент в складній системі автомобіля, призначений для забезпечення його руху по дорозі. Саме в контакті рушія (шини) з дорогою формується потужна силова взаємодія автотранспортного засобу (АТЗ) з опорною поверхнею (ОП), що дозволяє реалізувати сили і моменти, які виробляються автомобілем, а також урахувати інерцію руху та опір середовища, що визначаються для раціонального руху транспортного засобу.

Шина виконує чотири основні функції, наведені нижче:

- несучу; сприймає й передає на опорну поверхню вертикальне навантаження, розподіляючи його так, щоб не ушкоджувалася дорога;
- привідну та гальмівну; передає тягову й гальмову сили на дорогу, забезпечиваючи рух автомобіля шляхом кочення колеса;
- керуючу; забезпечує стійкий рух автомобіля по певному напрямку (тримання сліду) і маневрування АТЗ;
- підресорюючу та амортизуючу; виконує значну частину роботи підресорювання і амортизації автомобіля у цілому; особливо це відноситься до області високочастотних коливань.

До шини пред'являють такі основні вимоги, які забезпечують важливі властивості автомобіля:

- безпеки руху; стійкості проти миттєвої відмови міцнісно-несучих елементів шини й зорієнтованого по напрямку держання курсу автомобіля на дорозі (сучасний дорожній рух ставить цю вимогу на перше місце);
- економічності; характеризується ціною й довговічністю шини при великій несучій здатності колеса, високій транспортній швидкості й низькому опорі коченню; варто врахувати також забезпечення неушкодженості автомо-

біля, вантажу й дороги; крім того, на економічність впливають ціна й ефективність засобів технічного обслуговування (ТО) й ремонту шин;

- комфортабельності; повинні бути забезпечені: спокійний рух, без істотних поштовхів і коливань, а також маневреність і стійкість руху автомобіля; це гарантує збереження здоров'я пасажирів і водія.

Існує потреба в підтриманні такої важливої властивості швидкісного легкового автомобіля, як курсова стійкість його руху. Використання великої множини АТЗ в інтенсивних транспортних потоках обумовлює необхідність діагностування та регулювання курсової стійкості руху (КСР) під час експлуатації автомобілів з раціональними періодичністю та точністю. Якщо, після виготовлення шини, для оцінки якості рушія контролюється більш 50 параметрів, серед яких присутні бічне відведення та стійкість на поворотах, то, під час експлуатації автомобіля перманентна перевірка технічного стану еластичного рушія виконується оглядом або по тиску повітря в шині під час руху АТЗ, що мають відповідну контрольну систему. Періодична перевірка технічного стану (ТС) рушія виконується при проведенні ТО: на лінії перевірки ходових властивостей (в тому числі, контроль відведення вісей при прямолінійному русі), а також вимірювання остаточної висоти виступів протектору (за результатами огляду).

Теоретичні задачі, що слід вирішити, наступні:

- проаналізувати напрями забезпечення курсової стійкості автомобіля;
- проаналізувати вплив технічного стану автомобільних шин на керування та стійкість руху.

Розділ 1

Напрями забезпечення курсової стійкості автомобіля

Роботи в області стійкості автомобіля з'явилися пізніше, ніж сам автомобіль, на відміну, наприклад, від досліджень про стійкість та керованість літаків, винахід яких в значній мірі був наслідком вирішення питань стійкості та керованості [1]. Означене протиріччя пояснюється тим, що автомобіль в якості попередників мав візок та паровий екіпаж, тому ці питання не мали великого значення. Більша увага приділялась питанням керування. Можна припустити, що вперше виникли проблеми стійкості та керованості автомобілів в автомобільному спорті. Під час автомобільних перегонів на початку XX ст., коли були досягнуті відносно великі швидкості, були виявлені деякі дефекти кермового керування, які промисловість не могла усунути доволі великий час. З цього часу, очевидно, почались роботи в області стійкості руху автомобілів (табл. 1.1). Початком розвитку теорії керованості та стійкості автомобілів можна вважати роботи Інституту автомобільних інженерів (Proceedings of Institution of Automobile Engineers), перша з яких була опублікована в 1907 р. (рис. 1.1). У 1926 – 1928 рр. ряд досліджень, присвячених окремим питанням керованості та стійкості автомобіля, був проведений у Франції Сенсо де Ляво [4].

Поняття «стійкість» автомобіля вперше з'явилося в 30-х роках минулого сторіччя в СРСР завдяки роботам академіка Є.О. Чудакова, але це поняття не трактувалося тоді як окрема експлуатаційна властивість автомобіля, а тільки як фактор, що впливає на тягові та гальмівні властивості. Аналогічного напрямку притримувався В.Ю. Гіттіс [2]. Але вже в 1935 р. Є.О. Чудаков відносить стійкість до основних експлуатаційно-технічних властивостей автомобіля і характеризує це поняття, як здатність автомобіля тримати дорогу, коли та нерівна або ковзка. В більш пізніх роботах Є.О. Чудаков [3] запропонував таке визначення стійкості – здатність автомобіля протистояти бічному ковзанню його вісей в різних напрямках.

Таблиця 1.1 - Історія розвитку поняття «стійкість» автомобіля

Історія розвитку	Поняття «стійкість»
1	2
автомобільні перегони на початку ХХ ст.	були досягнуті відносно великі швидкості, були виявлені деякі дефекти кермового керування, які промисловість не могла усунути
1896-1907 рр., Інститут автомобільних інженерів (Proceedings of Institution of Automobile Engineers), British Industrial History	Перші публікація в області стійкості руху автомобілів
1926 – 1928 рр., Франція, Сенсо де Ляво [4]	Проводяться дослідження, що присвячені окремим питанням керованості та стійкості автомобіля
30-і рр., академік Є.О. Чудаков, В.Ю. Гіттич [2]	тракується не як окрема експлуатаційна властивість автомобіля, а тільки як фактор, що впливає на тягові та гальмівні властивості
1934 р., М. Оллея [5]	«надлишкова та недостатня поворотність» і «критична швидкість»
1935 р., академік Є.О. Чудаков [6]	Здатність автомобіля тримати дорогу при нерівній та сільській поверхні дороги
1950 р., академік Є.О. Чудаков [3]	здатність автомобіля протистояти бічному ковзанню його вісей в різних напрямках
1956 р., А.М. Ляпунов [7], І. Рокара [8]	заклав основи для подальшого розвитку теорії стійкості
1947-1968 рр., Я.М. Певзнер [9, 10]	дослідження стійкості руху автомобіля з використанням математичної теорії стійкості
1963 р., Я.Є. Фаробін [11]	стійкість руху розглядається для двох схем керування АТЗ – розімкненої і замкненої. При розімкненій схемі керування оцінюється потенційна стійкість руху самого АТЗ, при замкненій – стійкість руху системи «водій-АТЗ»
1971 р., А.С. Литвинов [12]	запропонував поділити стійкість на три складові: стійкість по перекиданню (поперечному та повздовжньому); стійкість по напрямку руху (курсова стійкість руху); стійкість по бічному зміщенню (бічна стійкість)

Продовження табл. 1.1.

1	2
1971 р., А.С. Литвинов [13]	розглядається тільки курсова стійкість руху, показником якої є курсовий кут γ . Під курсовим кутом розуміють кут між проекцією повздовжньої вісі автомобіля на площину дороги та нерухомої прямої, яка належить даній площині.
1978-2000 рр., Д.А. Антонов [14], А.А. Хачатуров [15], А.І. Гришкевич [16], Л.Г. Лобас [17] та інш.	Продовження розвитку теорії стійкості
1990 р., Смирнов Г.А. [18]	під стійкістю руху розуміється властивість машини зберігати в заданих межах, незалежно від швидкості руху та дії зовнішніх сил, інерційних сил та сил тяжіння, напрямку руху та орієнтацію повздовжньої та вертикальної вісей при відсутності керуючих впливів з боку водія.
з 1984 р. Л.Г. Лобас та В.Г. Вербицький [19]	Дослідження стійкості руху автомобілів набули подальшого розвитку в Україні
1896 р. Гришкевич А.І. [16]	стійкість – це властивість автомобіля, що характеризує його здатність зберігати заданий напрямок руху при впливі зовнішніх сил, які прагнуть відхилити його від цього напрямку
з 1999 р. В.П. Сахно [20], А.В. Барілович, А.В. Вакулич, В.А. Макаров та інші	продовжуються роботи по стійкості автопоїздів
з 2003 р. В.П. Волков [21], М.А. Подригало [22] та Е.Е. Олександров [23]	підвищення стійкості автомобілів при заносі та гальмівних режимах

Слід відзначити роботу М. Оллея [5], який вперше визначив такі поняття: «надлишкова та недостатня повороткість» і «критична швидкість». Далі, доволі багато дослідників займались вивченням стійкості: де Сез, Грумюллер, Жюльєн, Булл, Фромм, фон Шліппе, Дитріх, Сіджел, Уітком, Міллікен [1]. Особливо слід відзначити роботу Рокара [8].

У СРСР дослідженнями стійкості займались багато вчених. Найбільш суттєвий внесок в розвиток теорії стійкості взагалі створив видатний математик А.М. Ляпунов [7], який заклав основи для подальшого розвитку теорії стійкості. Послідовниками Ляпунова, які розвинули цю теорію та зробили можливим її

застосування в багатьох прикладних областях, були – Н.Г. Четаєв [24], І.Г. Малкін [24] та інші.

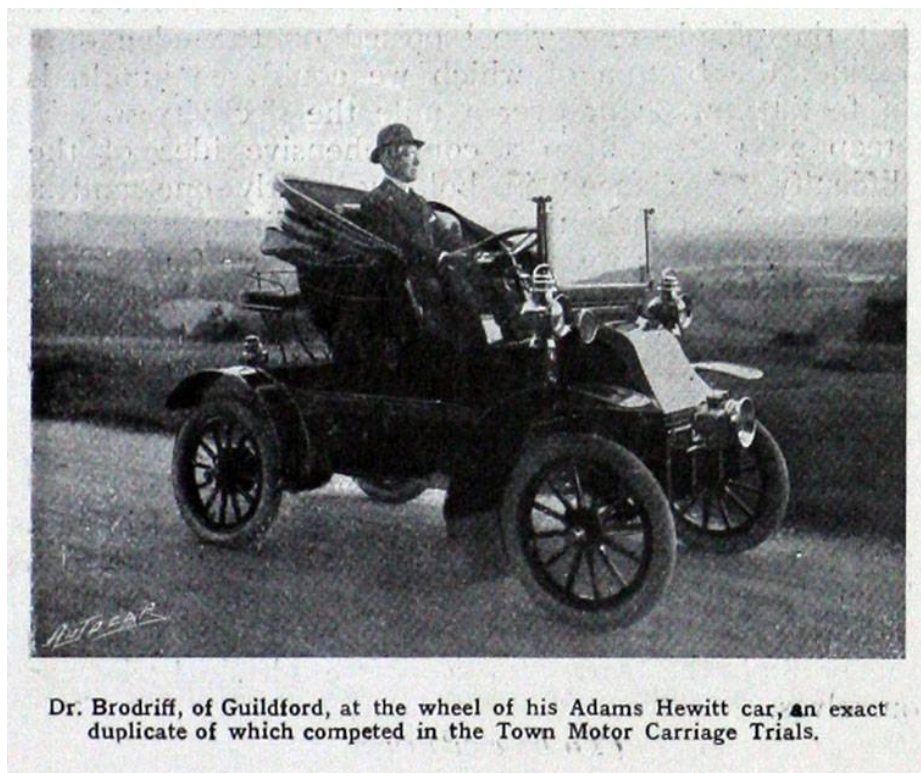


Рис. 1.1. Motor Carriage Trials, 1907 р.

Бічне відведення автомобільних шин

До важливих показників шини відносяться бічна та кутова жорсткість шини, методи знаходження яких можна знайти в роботі [25]. Але ці показники є показниками статичного випробування шин, і, тому, не дивлячись на їх важливість, більш цікавим та значимим є дослідження шини в динаміці, тобто при коченні колеса. Безсумнівно, найважливішою характеристикою шини, яка, власне кажучи, поєднує в собі бічну і кутову жорсткості, є бічне відведення колеса, яке найбільше впливає на КСР автомобіля. Явище відведення відкрив у 1925 р І. Брульє і з того часу цьому явищу приділялося та приділяється багато уваги. Бічне відведення колеса порушує однозначність зв'язку між змінами напрямку руху автомобіля та траєкторії переміщення його точок. Взагалі, зустрічаються два способи пояснення явища відведення. В роботах [26], [12-13] відведенням називається відхилення траєкторії еластичного колеса від площини обертання колеса на кут δ (рис. 1.1-1.5).

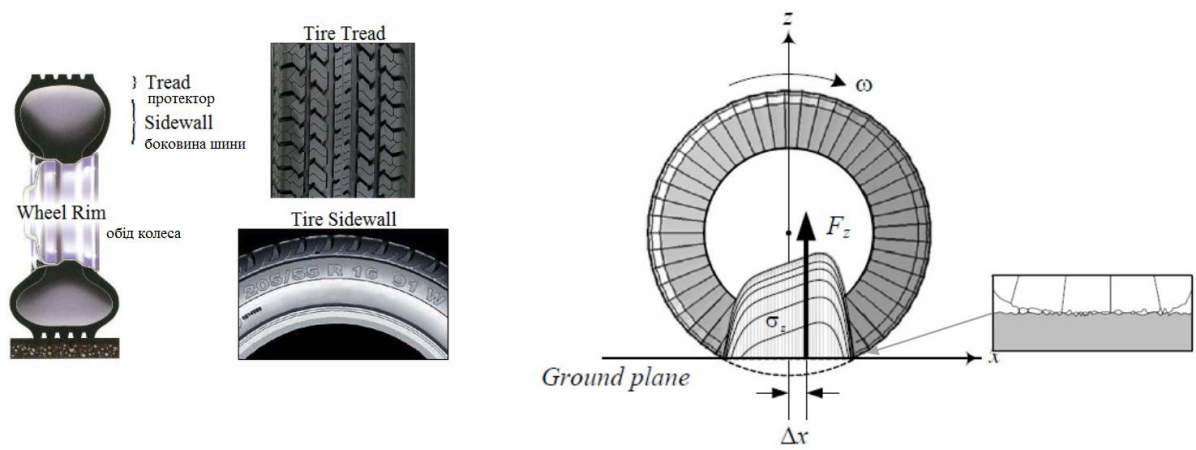


Рис. 1.1. Моделювання шини за допомогою простих фізичних моделей

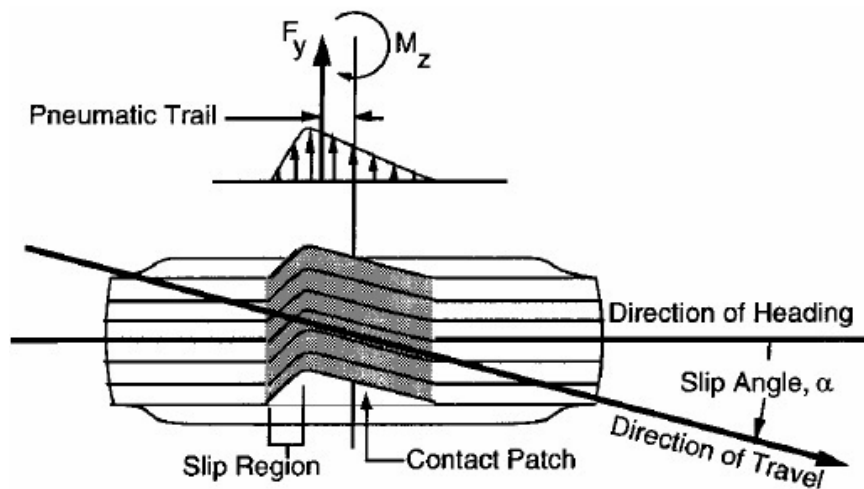
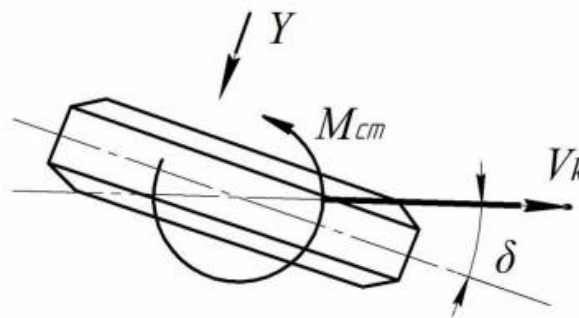


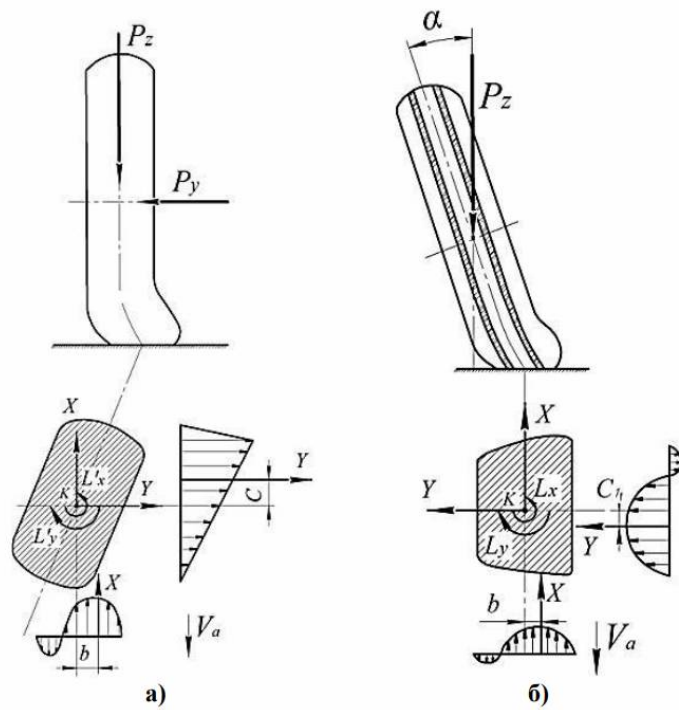
Рис. 1.2. Виникнення кута відведення колеса



M_{cm} – стабілізуючий момент; V_k – лінійна швидкість руху центру колеса;

Y – бічна сила; δ – кут відведення

Рис. 1.3. Вплив стабілізуючого моменту на кут відведення



а - установленного з відведенням; б - установленного з розвалом

Рис. 1.4. Сили та моменти в контакті колеса, що котиться

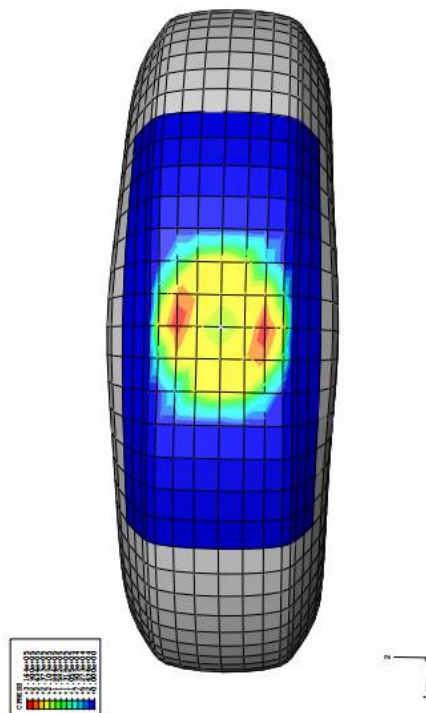


Рис. 1.5. Нормальний розподіл тиску моделі шини FEM program

Наведемо приклад нормального розподілу тиску шини Continental SportContact 2 225/50/R17, навантажена силою 2750 N, що моделюється в про-

грамі FEM Abaqus. На цьому рисунку зрозуміло, що при збільшенні нормальної сили нормальне навантаження на плече протектора збільшується. При цій нормі сили існує мінімальний нормальний тиск у центрі плями контакту, у поздовжньому напрямку два збільшених максимуму зміщуються все більше і більше до країв плями контакту (рис. 1.6-1.7).

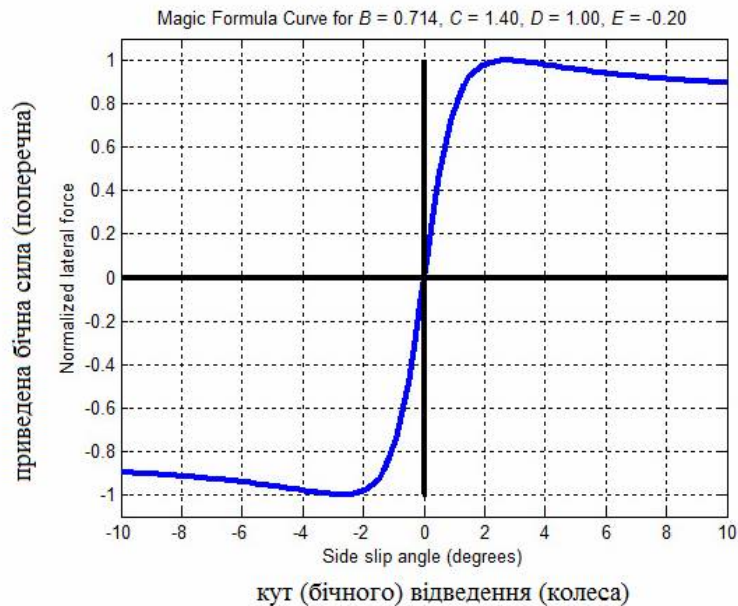


Рис. 1.6. Емпірична модель Magic Formula за Hans B. Расејка в програмі FEM Abaqus

$$Y(x) = D \cdot \sin[C \cdot \arctan\{B \cdot x - E \cdot (B \cdot x - \arctan(B \cdot x))\}] + S_v,$$

де $x = X + S_H$; B, D, C, E – емпіричні коефіцієнти, що залежать від властивостей конкретної шини і враховують зміна коефіцієнта поперечного зчеплення шини з дорожнім покриттям.

$Y(x)$ може бути поздовжньої або поперечної силою або моментом, а X – поздовжній або поперечний кріп.

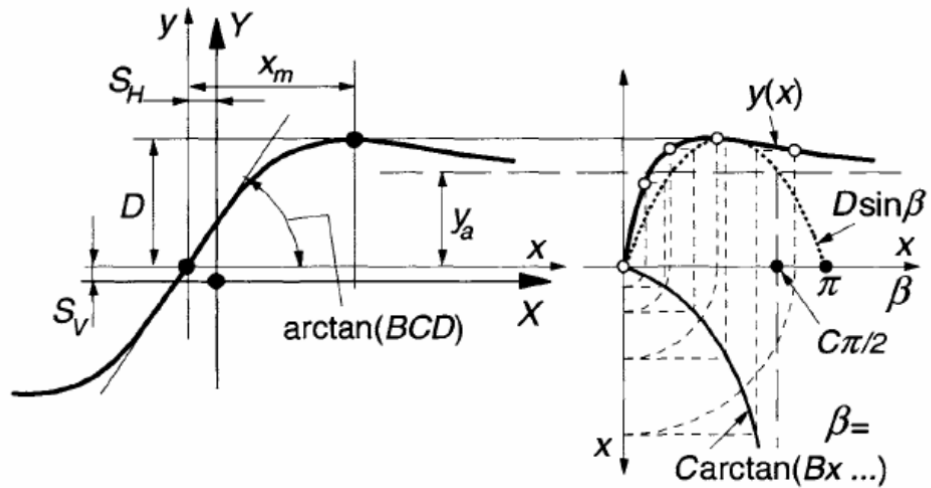


Рис. 1.7. Формула Magic Formula за Hans B. Pacejka

Лінеаризовані рівняння руху розглядаємої моделі авто, в околі незбуреного прямолінійного руху мають вигляд (рис. 1.8):

$$m\ddot{y} = -2k_y y + 2\chi_\delta \left(\frac{\dot{y}}{V} \right); \quad (1.1)$$

$$J\ddot{\psi} = -2Hk_x \psi - 2\mu_\delta \left(\psi - \frac{\dot{y}}{V} \right), \quad (1.2)$$

де χ_δ – коефіцієнт опору відведенню; μ_δ – коефіцієнт моменту відведення;

m – маса вісі у зборі (два колеса та вісі); J – центральний вертикальний момент інерції вісі; $Y_\delta = \chi_\delta \delta$ – сила відведення; $M_\delta = \mu_\delta \delta$ – момент відведення.

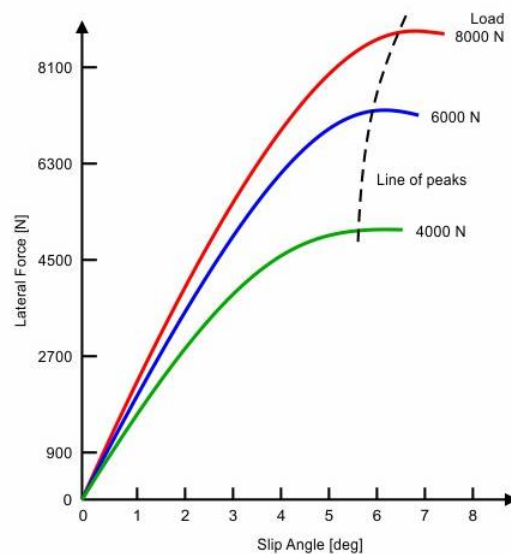


Рис. 1.8. Залежності бічної сили від кута відведення

Я.М. Певзнер запропонував кількісну оцінку бічного відведення еластичного колеса у вигляді залежності між бічною силою Y і кутом відведення δ :

$$Y = K_y \delta, \quad (1.3)$$

де K_y – коефіцієнт опору відведення колеса.

Ця теорія має назву лінійної і має суттєві недоліки. Для досліджень необхідно мати множину значень коефіцієнтів K_y , які відповідають кожному значенню нормального навантаження (залежність коефіцієнту від різних факторів наведено нижче). Крім того, для кожного значення K_y з попередньої множини утвориться ще множина значень в залежності від зміни тягової сили, а також ще множина значень в залежності від тиску повітря в шині тощо. Оскільки отримання такої великої кількості характеристик є доволі складним завданням, дослідники обмежуються мінімальною кількістю значень K_y .

Бічне відведення еластичного колеса вивчалось по двох напрямках. Один з них – вивчення динаміки і кінематики неголономних систем з класичними неголономними зв'язками (теорії І. Рокара, М.В. Келдиша, А.А. Хачатурова). Другий напрямок схилявся більш до експериментальної основи в теорії, тому досліджувалися зв'язки та залежності між діючими бічними силами та кутами відведення, що при цьому виникають. Хоча обидва напрямки розвиваються доволі динамічно, говорити про безперечну перевагу одного напрямку над другим ще зарано, хоча можна зробити декілька висновків (табл. 1.2). Теорії, що базуються на використанні рівнянь кінематичних зв'язків, доцільно використовувати у випадках несталого відведення при істотній величині відношення $\frac{\dot{\theta} \cdot l_B}{v}$ [12] (l_B – довжина контактної відбитки, v – швидкість руху, $\dot{\theta}$ – кутова швидкість повороту колеса відносно вертикальної осі, що перпендикулярна до опорної поверхні).

Однак, ці теорії мають недоліки: виходять з урахування малих кутів повороту коліс та кутів відведення; засновані на передумові, що відсутнє ковзання в контактні колеса з опорною поверхнею; використовують коефіцієнти та деякі параметри характеристик руху шини, що отримані для колеса, яке не оберта-

ється; передбачають, що кривизна середньої лінії шини в зоні контакту співпадає з кривизною траєкторії руху колеса.

Таблиця 1.2 - Напрями вивчення бічного відведення еластичного колеса

І напрям	ІІ напрям	
вивчення динаміки і кінематики неголономних систем з класичними неголономними зв'язками	дослідження зв'язків та залежностей між діючими бічними силами та кутами відведення, що при цьому виникають	
	апроксимація емпіричних залежностей, отриманих в результаті експериментальних досліджень	пошук теоретичних залежностей, заснованих на заміні реальної шини пружною моделлю
Недоліки		
- виходять з урахування малих кутів повороту коліс та кутів відведення; - засновано на передумові, що відсутнє ковзання в контакті колеса з опорною поверхнею; - використані коефіцієнти та деякі параметри характеристик руху шини, що отримані для колеса, яке не обертається; - передбачено що кривизна середньої лінії шини в зоні контакту співпадає з кривизною траєкторії руху колеса	Рівняння, що зв'язують бічні сили з кутами відведення й отримані в результаті заміни реальної шини однією з існуючих пружних моделей (математично обґрунтованих) є або недостатньо точними, або складними і незручними для використання їх при дослідженні керованості й стійкості автомобіля	

Крім того, ці теорії підвищують ступінь диференціальних рівнянь руху автомобіля. В роботі [29] експериментально доведено про наявність ковзання при будь-якому значенні бічної сили, навіть при близькому до нуля, а також доведено про неспівпадання кривизни середньої лінії шини в зоні контакту з кривизною траєкторії руху колеса.

Находженню залежності $Y = f(\delta)$, що найбільш повно відображає явище відведення, присвячено велику кількість теоретичних і експериментальних досліджень. В результаті проведення таких досліджень створено декілька теорій

кочення пневматичного колеса з відведенням, причому усі вони розрізняються повнотою урахування особливостей процесу відведення.

При цьому роботи ведуться в двох напрямках: апроксимація емпіричних залежностей, отриманих в результаті експериментальних досліджень, і пошук теоретичних залежностей, заснованих на заміні реальної шини пружною моделлю. В математичних моделях руху автомобілів і автопоїздів приймають як лінійні, так і нелінійні залежності $Y = f(\delta)$. Відзначимо, що при дослідженнях стійкості і керованості з урахуванням нелінійності залежності $Y = f(\delta)$ перевагу віддають напрямку, заснованому на простих емпіричних і напівемпіричних залежностях. Це є особливо важливим при дослідженні маневреності і стійкості руху автопоїздів, що створені на основі автомобілів-тягачів і причіпної техніки країн далекого зарубіжжя, для яких будь-які експериментальні данні відсутні.

Рівняння, що зв'язують бічні сили з кутами відведення й отримані в результаті заміни реальної шини однією з існуючих пружних моделей (математично обґрунтованих) є або недостатньо точними, або складними і незручними для використання їх при дослідженні керованості й стійкості автомобіля.

І. Рокар у роботі [8] наводить формулу для визначення бічної сили, яка знайшла широке розповсюдження в дослідженнях керованості і стійкості автомобіля:

$$Y = \frac{k\delta}{\sqrt{1 + x^2\delta^2}}, \quad (1.4)$$

де $x = \frac{k}{\varphi z}$;

φ – коефіцієнт поперечного ковзання;

z – вертикальне навантаження на колесо.

Я.М. Певзнер у роботі [10] визначив:

$$k_y = k_{y0} \left[1 - \frac{4}{27} \left(\frac{k_{y0}\delta}{R_N\varphi} \right)^2 \right], \quad \text{за умови } k_{y0}\delta \leq 1,5R_N\varphi, \quad (1.5)$$

де R_N – нормальна реакція опорної поверхні на колесо.

Висновок за розділом 1

1. Доведено про наявність ковзання при будь-якому значенні бічної сили, навіть при близькому до нуля, а також доведено про неспівпадання кривизни середньої лінії шини в зоні контакту з кривизною траєкторії руху колеса.

2. При дослідженнях стійкості і керованості з урахуванням нелінійності залежності $Y = f(\delta)$ перевагу віддають напрямку, заснованому на простих емпіричних і напівемпіричних залежностях.

3. У результаті проведення розрахункового аналізу по основним залежностям $Y = f(\delta)$ бічної сили від кута відведення коліс можна зробити висновок, що з використанням нелінійної теорії відведення результати більш близькі до експериментальних даних, чим при застосуванні лінійної теорії відведення. Однак при малих кутах відведення ($\delta = 4 - 5^\circ$ при $\varphi = 0,6$ і $\delta = 2 - 2,5^\circ$ при $\varphi = 0,2 - 0,3$ (змiana відношення порівняно невелика і може вважатися постійною, тобто $\frac{Y_\delta}{\delta} = k_y = \text{const}$), а залежність, отже, лінійною.

Розділ 2

Технічний стан автомобільних шин і його вплив на керованість та стійкість руху автомобіля

2.1 Вплив зносу протектора на керованість та стійкість руху автомобіля

Стойкість руху та керованість автомобіля у великій мірі залежить від властивостей шин. При виробництві шин до їх конструкції та матеріалів висуваються відповідні вимоги. Однак, у процесі експлуатації технічний стан шини обов'язково змінюється, що не може не впливати на показники стійкості руху автомобіля. Врахування змін технічного стану шин і адекватне реагування на ці зміни з метою забезпечення необхідної безпеки руху – це актуальна проблема, яка на даний час не має чіткого рішення [30].

Технічний стан (ТС) шини визначається сукупністю відхилень її структурних параметрів від допустимих і граничних значень вказаних параметрів. Автомобільна шина має велику кількість структурних параметрів. Вони визначають розміри шини, взаємне розташування її елементів і фізико-хімічні властивості цих елементів. Таким чином, ТС шини – це широке і містке поняття, яке включає планіметрію, розміри і властивості матеріалу корду, бортів, протектора та ін. Свої особливості визначення ТС мають шини, які відновлюються методом накладання протектора [31].

Питання впливу зміни технічного стану шини на характеристики та експлуатаційні властивості автомобіля вивчалися і викладені в роботах Кнороза В.І., Запорожцева А.В., Говорущенко Н.Я., Ларіна А.Н. та ін.

Одним із основних структурних параметрів шини є висота рисунка протектора, а зміна висоти – знос протектора, є найбільш значущою характеристикою зміни ТС. За рахунок зносу виходять з експлуатації від 60 до 90% всіх шин; по розриву каркаса, розшаруванню й експлуатаційним ушкодженням – до 30% шин [32].

Необхідно враховувати, що шина функціонує в самих різних, часто в самих несприятливих умовах, і за період експлуатації значно змінюються її характеристики (зношується протектор, змінюються показники жорсткості гуми). Так, при експлуатації старих шин виникає підвищений ризик виникнення дефекту шини. Дослідження, проведені у ФРН, показали, що для накладення нового протектора вік каркаса шість років є граничним. Крім того, у шин після шести-річного терміну збереження спостерігалось істотне зниження індексу швидкості. Згідно цим статистичним дослідженням, імовірність виникнення дефекту в шині, з моменту виготовлення якої пройшло дев'ять років, у вісім разів вище, ніж у дворічного виробу [33].

Вихід шин з експлуатації через розрив і розшарування каркаса є, в основному, наслідком втоми матеріалу й оцінюється числом циклів навантажень, що він може витримувати до руйнування. У процесі деформації в матеріалах послаблюються молекулярні зв'язки, відбувається розрив найбільш напружених ланцюгів молекул. Це приводить до виникнення необоротних залишкових деформацій, появи мікротріщин, механічного тертя, інтенсивного виділення тепла. Розвиток мікрODEфектів викликає прогресивне ослаблення матеріалу. Утома резинокордних матеріалів зростає з підвищенням температури, спостерігається істотне ослаблення зв'язку між гумою і кордом.

При високій температурі зменшується міцність гуми і корду, створюються сприятливі умови для розшарування покриття. Зменшення терміну служби і вихід шини з експлуатації відбувається в підсумку внаслідок розшарування покриття і розриву каркаса від втоми корду, що збільшується неякісною збіркою, технологічними дефектами, а також порушенням правил експлуатації.

З огляду на зазначені вище дані можна зробити висновок, що при розгляді зміни технічного стану шини варто мати на увазі насамперед знос рисунку протектора.

Знос протектора може бути рівномірним по поперечному профілю шини і по її окружності [34], а також нерівномірним (рис. 2.1). Рівномірний знос сам по собі не є недосконалістю, якщо інтенсивність зношування протектора номі-

нальна, а ресурс шини відповідає заданому. Якщо ж величина зносу для заданого пробігу має значення більше необхідного (передчасний знос) або величина виступів протектора менше допустимої, то такий рівномірний знос варто віднести до недосконалостей покриття.

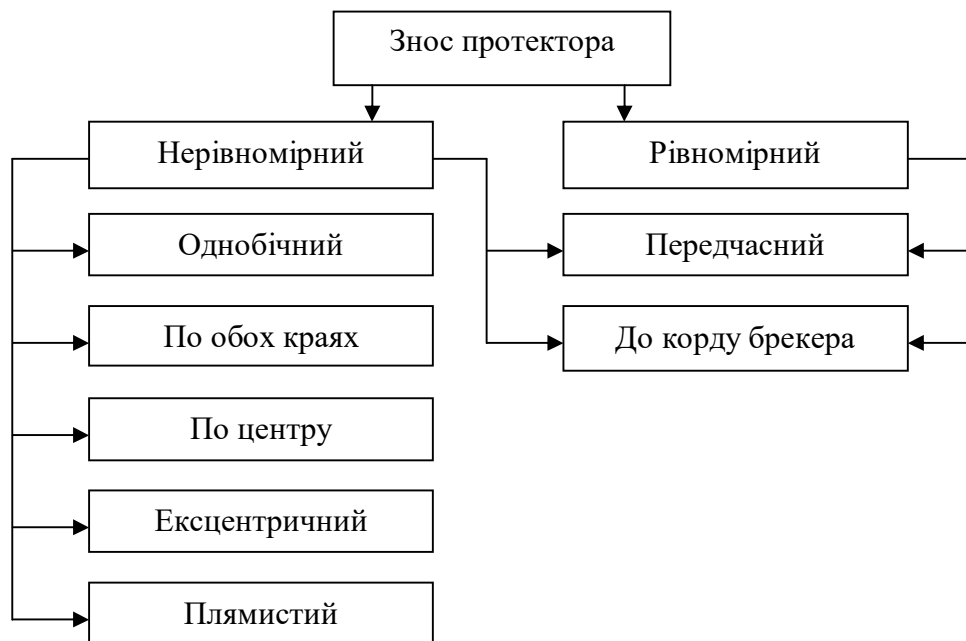


Рис. 2.1. Види зносу протектора

Експлуатаційна надійність автомобіля і безпека руху багато в чому залежить від технічного стану колісного вузла. Одна з основних причин, що істотно впливає на технічний стан колісного вузла, – його невірноваженість, тобто дисбаланс, величина якого може коливатися в процесі експлуатації автомобіля в досить широких межах.

Найбільше впливає на сумарну величину дисбалансу колісного вузла шина, тому що вона найбільш віддалена від центра обертання і має значну масу. Е.В. Кленніков відзначає, що «у процесі експлуатації дисбаланс може сильно зрости внаслідок нерівномірного зносу шин».

За даними В.М. Дугельного [35] 43% шин легкових автомобілів мають рівномірний знос протектора, 21,5% - мали нерівномірний або граничний знос протектора, 7,5% - мали пошкодження протектора, 16% - мали пошкодження боковини, 12% - мали дефекти старіння гуми. Ці дані підтверджують той факт, що значна частина автомобільних шин має відхилення від нормального процесу

зношування. Але, зважаючи на мету дослідження, доцільно в першу чергу сконцентрувати увагу на випадку рівномірного зносу, який є найбільш розповсюдженим і відповідає правильній експлуатації автомобіля.

Знос протектора суттєво впливає на коефіцієнт опору бічному відведенню шини. Ґрунтуючись на очевидній пропорційній залежності між стійкістю й опором бічному відведенню в НАМІ (Центральний науково-дослідний автомобільний і автотранспортний інститут, Москва) був проведений ряд експериментів з шинами вантажних автомобілів на універсальному барабанному стенді 3302 [26]. Досліди показали, що зі зменшенням висоти рисунка протектора опір бічному відведенню збільшується (рис. 2.2), у повністю зношених шин він на 50 – 70% більше ніж у нових шин.

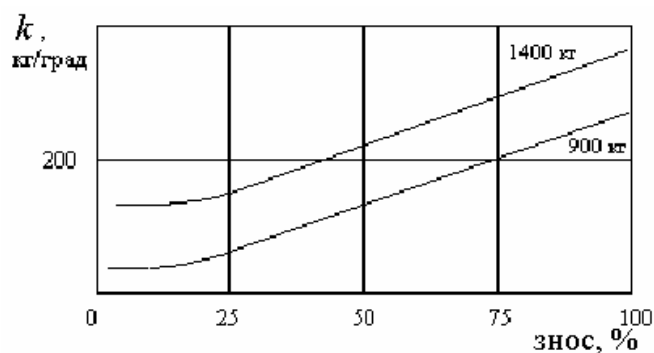
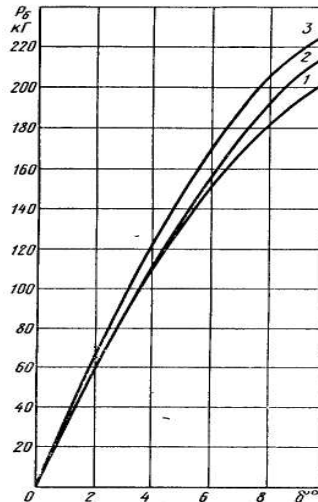


Рис. 2.2. Вплив зносу шин на коефіцієнт опору бічному відведенню при різному навантаженні

В монографії А.С. Литвинова [12] наведені такі дані: «коефіцієнт опору у значній мірі залежить від висоти протектора. За результатами досліджень НДІШП (Науково-дослідний інститут шинної промисловості), коефіцієнти опору відведенню шини 260 – 508 збільшуються на 40% при зменшенні глибини рисунку протектора з 20 до 5 мм (рис. 2.3).

Стійкість руху автомобіля в значній мірі залежить від відведення мостів (повороткості автомобіля). У роботі [21] В.П. Волков наводить приклад, який переконливо показує вплив зміни коефіцієнта опору бічному відведенню на поворотність автомобіля. Це простежується на прикладі легкового автомобіля, що має повну масу 2000 кг, колісну базу 3,2 м і розподіл маси по осях: 49% на пе-

редню вісь і 51% на задню вісь. При діагональних шинах усіх коліс ($k = 38$ кН/рад) автомобіль володіє надлишковою повороткістю з критичною швидкістю 278 км/год, при всіх радіальних шинах ($k = 48$ кН/рад) також володіє надлишковою повороткістю з критичною швидкістю 312 км/год.



1 – після пробігу 500 км; 2 – після пробігу 3400 км; 3 – після пробігу 11900 км

Рис. 2.3. Залежність бічної сили від кута відведення при різному зносі протектора шини

З радіальними шинами на передніх колесах і діагональними на задніх автомобіль має надлишкову повороткість із критичною швидкістю 113 км/год, яка менше за його максимальну швидкість. Приведені дані розраховані на підставі формули [21]:

$$v_{кр} = 3,6 \sqrt{\frac{gL}{\frac{G_2}{k_2} - \frac{G_1}{k_1}}}, \quad (2.1)$$

де k_1 і k_2 – коефіцієнти відведення передньої і задньої осі відповідно;

G_1 і G_2 – нормальні реакції передньої і задньої осі відповідно;

L – база автомобіля, м.

Необхідність забезпечення стійкості та керованості автомобіля за рахунок властивостей шин відображена в Правилах дорожнього руху України [35]. Ними забороняється експлуатація транспортних засобів у випадку, якщо на передню вісь встановлені радіальні шини, а на другу (другі) – діагональні.

Отже, якщо є різний знос протектора, то можна говорити про зміну опору бічному відведенню мостів і, як наслідок, параметрів повороткості. Виявлення залежності між зміною глибини рисунку протектора та коефіцієнтом опору бічному відведенню і використання цієї залежності при математичному моделюванні руху транспортного засобу – задача, вирішення якої дозволяє більш точно прогнозувати умови забезпечення стійкого руху автомобіля. Також важливим є питання корегування повороткості автомобіля, яка змінюється за рахунок зносу шин.

2.2 Нові концепції технології автомобільних шин щодо підвищення безпеки автомобілів

Непневматична шина (Non-Pneumatic Tyre (NPT)) не використовує повітря для підтримки навантаження. Легко найбільш візуально вражаюча тенденція з'явитися пізно - безповітряна шина. Непридатні для проколів, безповітряні шини мають зовнішній протектор, підтримуваний гнучкими поліуретановими спицями, які поглинають силу дороги. Вони використовують менше гуми, потенційно можуть тривати до трьох разів довше, ніж традиційні шини, і мають високу бокову силу та стійкість до гідропланування. NPT складається переважно з трьох частин: 1) жорсткий концентратор; 2) деформовані спиці, що підтримують вертикальне навантаження; 3) зсилена зсувна смуга і протектор, виготовлені з гуми, що вступає в контакт з поверхнею. Властивості NPT, такі як контактний тиск, стійкість до кочення і вантажопідйомність, можуть бути змінені шляхом зміни розмірів або матеріалів, що використовуються для виготовлення NPT.

Нова технологія підвищить безпеку автомобілів, а також позитивно вплине на навколишнє середовище. Оскільки ця шина складається з високоякісного полімеру.

Недоліки NPT: 1. NPT дорожча в порівнянні з пневматичними шинами. 2. Заміна будь-якого компонента в NPT неможлива, кожен раз, коли шина зноше-

на, повинні замінити цілий NPT. 3. Більш груба їзда на більш високих швидкостях.

Автомобіль з використання NPT (рис. 2.4): для земляних робіт; інвалідні крісла; NASA Lunar rover; військові транспортні засоби.



Рис. 2.4. Непневматична шина (Non-Pneumatic Tyre (NPT))

Система CAIS для підвищення безпеки руху автомобілів

Шини є частиною технології push-to-use для підвищення безпеки автомобілів. Система, відома як "Contact Area Information Sensing" або CAIS, включає в себе датчик, прикріплений до внутрішньої стінки шини, який контролює взаємодію з поверхнею дороги. Система перевіряє стан дорожнього руху, щоб відрізнити сухий, мокрий, слизький, свіжий сніг або лід, і відправляє цю інформацію в реальному часі водію через цифровий екран.

Потенційним засобом є самопливні шини, які використовують датчики для вимірювання тиску в шинах і автоматично додають або зменшують повітря, якщо тиск є занадто високим або низьким. Ця технологія використовується в важких автомобілях і військових машинах, і може стати найближчим часом для легкових автомобілів, у тому числі низькотехнологічна версія з лише двома частинами.

Альтернативи гумовій суміші

Можливо, розвиток найнижчих технологій у шинах може найбільше вплинути на безпеку водіїв. "Discolor tire" починає виглядати, як і будь-яка інша чорна шина, але коли протектор знімається до мінімального рівня безпеки, його поверхня виявляється яскраво-оранжевим. Запалений в протектор під час виробничого процесу, колір дає змогу дізнатися, коли прийшов час замінити шини.

"Eco-friendly" - це слово, яке зазвичай не пов'язане з шинами, але стійкі альтернативи гумовій суміші можуть незабаром зайняти лідируючі позиції у виробництві шин. Guayule - пустельний чагарник, розташований на південному заході США, в обмеженому ступені використовувався в виробництві гуми більше століття.

Російський корінь кульбаби представляє матеріал, як дерево гуми. Корені кульбаби набагато простіше збирати, ніж каучуки з дерев і краще для навколишнього середовища.

Кріогенна суміш з каноли (Cryogenic Canola Compound) для екстремальних умов водіння (лід, сніг і зчеплення з вологою дорогою)

Нова гумова суміш для протектора шин – кріогенна суміш з каноли – це нова комбінація з натурального каучуку, кремнію і масла каноли; вона оптимізує зимове зчеплення, зчеплення на вологій дорозі і зносостійкість під час різних температур.

Новий вид крем'яних добавок full-silica містить так званий кріосілан, що підвищує функціональні можливості гумової суміші. Масло каноли забезпечує більш високу стійкість до розриву і підвищує зчеплення з льодом і снігом. Завдяки високому вмісту кремнію екологічно безпечні шини Nokian WR мають дуже низький рівень опору коченню, знижують витрату палива і зменшують шкідливі викиди в порівнянні з традиційними конкурентами.

Технології ContiSense та ContiAdapt

Continental на початку 2018 р. представила дві нові концепції технології шин, які дозволили забезпечити ще більшу безпеку та комфорт у дорозі в майбутньому. Ці дві системи дозволяють постійно контролювати стан шини, а також узгоджувати ситуацію з характеристиками характеристик шини з переважаючими дорожніми умовами. Технології ContiSense та ContiAdapt супроводжуються дослідженням шин.

ContiSense заснований на розробці електропровідних гумових сумішей, які дозволяють відправляти електричні сигнали від датчика в шину до приймача в автомобілі. Резинові датчики постійно контролюють глибину протектора

та температуру (рис. 2.5). ContiSense та ContiAdapt об'єднуються концепт-шини, що дозволяє використовувати ці системи як повну силу. Нові концепції технології шин ContiSeal - для автоматичного ущільнення проколів і ContiSilent - для відчутного зменшення шин/дорожнього шуму.



Рис. 2.5. Шина Continental з ContiSense and ContiAdapt

Технології Ground View та Terrain Response

Технологія "Ground View" передає комбінований вигляд з камер з решіткою та зовнішнім дзеркалом на сенсорний екран з видом на 180° під безпосередній передній частині автомобіля Range Rover Evoque (рис. 2.6), особливо корисним для технічно складних ситуацій поза дорогою. Фотоапарати також обличчя ззаду, спрямовуючи зображення до звичайного внутрішнього дзеркала, коли зоряне скло задніх дверей затемнене. Водій обирає ширококутний вид камери.

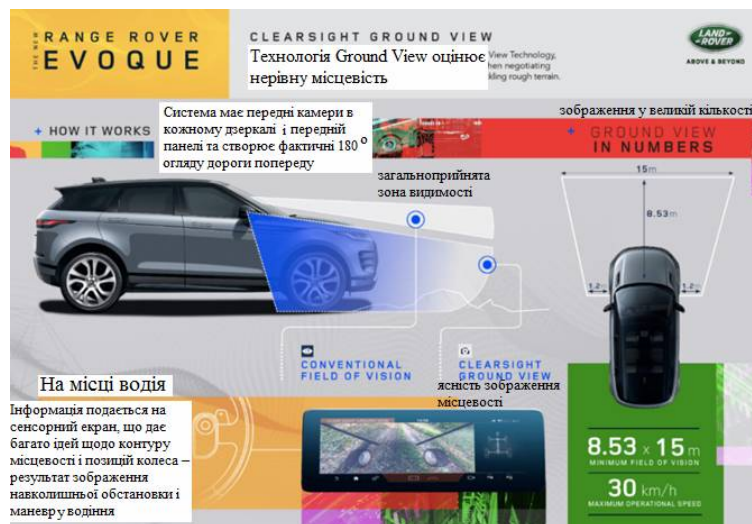


Рис. 2.6. Технологія Ground View автомобіля Range Rover Evoque, 2018 р.

Система адаптивного налаштування підвіски забезпечує оптимальний баланс плавності ходу і керованості. Це відбувається шляхом контролю за рухом транспортного засобу принаймні 1000 разів на секунду та регулювання параме-

трів заслінки, від м'яких до твердих, як то продиктоване настройками водія або дорогою. Це відбувається практично миттєво, щоб мінімізувати розворот кузова, запропонувати більший контроль та забезпечити стриману, рівну їзду. Вона навіть відчуває позашляхові умови і відповідним чином оптимізує затухання.

Система розподілу крутного моменту за допомогою гальмування Torque Vectoring By Braking. Ця система підвищує спритність та стабільність автомобіля при поворотах. Система постійно контролює та збалансовує розподіл крутного моменту між усіма колесами, щоб поліпшити зчеплення та кермування на дорогах або поза ними.

Система розпізнавання поверхонь Terrain Response. Система розпізнавання поверхонь Terrain Response виводить функціональні можливості на нові висоти. Це оптимізує двигун транспортного засобу, трансмісію, диференціали та систем ходової частини, щоб максимально підвищити керованість, комфорт та силу зчеплення незалежно від того, на якій місцевості знаходиться автомобіль.

Висновки за розділом 2

1. Знос протектора суттєво впливає на коефіцієнт опору бічному відведенню шини.
2. Стійкість руху автомобіля в значній мірі залежить від відведення мостів (повороткості автомобіля).
3. Нові концепції технології шин є перспективними рішеннями для підвищення безпеки руху та мобільності майбутнього, оскільки шини пристосовані для задоволення потреб автоматичного водіння та електрифікації. Ці концепції є логічним наступним кроком у майбутньому-орієнтованому розвитку датчика REDI, який був введений на ринок Continental у 2014 році, що сприяло встановленню розумного зв'язку між автомобілем та шиною.
4. Системи розпізнавання поверхонь Ground View та Terrain Response оптимізують роботу двигуна, трансмісії, диференціалів та систем ходової частини автомобіля, щоб максимально підвищити його керованість, комфорт та силу зчеплення незалежно від того, на якій місцевості він знаходиться.

Висновки

1. У роботі вирішувалася важлива суспільна проблема підвищення безпеки руху автотранспортних засобів шляхом покращення курсової стійкості руху легкових автомобілів.
2. Доведено про наявність ковзання при будь-якому значенні бічної сили, навіть при близькому до нуля, а також доведено про неспівпадання кривизни середньої лінії шини в зоні контакту з кривизною траєкторії руху колеса.
3. При дослідженнях стійкості і керованості з урахуванням нелінійності залежності $Y=f(\delta)$ перевагу віддають напрямку, заснованому на простих емпіричних і напівемпіричних залежностях.
4. Знос протектора суттєво впливає на коефіцієнт опору бічному відведенню шини. Стійкість руху автомобіля в значній мірі залежить від відведення мостів (поворотності автомобіля).
5. Розглянуті нові концепції технології автомобільних шин та автомобіля дозволяють забезпечити ще більшу безпеку та комфорт у дорозі. Шини NPT мають високу бокову силу та стійкість до гідропланування, позитивно впливають на навколишнє середовище. Система CAIS перевіряє стан дорожнього руху і відправляє цю інформацію в реальному часі водію через цифровий екран. Альтернативні гумові суміші мають дуже низький рівень опору коченню, знижують витрату палива і зменшують шкідливі викиди в порівнянні з традиційними. Технології ContiSense та ContiAdap дозволяють постійно контролювати стан шини в процесі експлуатації автомобіля. Технологія "Ground View" адаптивна налаштовує підвіску і забезпечує оптимальний баланс плавності ходу і керованості автомобіля.

Список літератури

1. Управляемость и устойчивость автомобиля ; пер. с англ. к. т. н. В.И. Котовского ; под ред. д. т. н. А.С. Литвинова. – М. : Машгиз, 1963. – 267 с.
2. Гарачук А.В. Изменение жесткостных характеристик эксплуатируемых шин / А.В. Гарачук., В.Н. Дугельный // Автомобильный транспорт : сб. науч. трудов. – Х. : ХГАДТУ, 2000. – Вып. 4. – С. 40 – 42.
3. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М. : Машгиз, 1950. – 343 с.
4. De Lavaud S. The problem of independent rear wheels / S. de Lavaud // Technique Moderne. – 1928. – v. 20. – N. 71.
5. Olley M. Stable and unstable steering / M. Olley // General motors. – 1934 (Report). P. 19 – 28.
6. Чудаков Е.А. Теория автомобиля, М., ОНТИ НКТП, 1935.
7. Ляпунов А.М. Собрание сочинений. Т. 2 / А.М. Ляпунов. – М.-Л. : АН СССР, 1956. – 475 с.
8. Рокар И. Неустойчивость в механике / И. Рокар. – М. : Изд-во иностр. лит., 1959. – 317 с.
9. Певзнер Я.М. О качении автомобильных шин при быстро меняющихся режимах увода / Я.М. Певзнер // Автомобильная промышленность. – 1968. – №6. – С. 15 – 19.
10. Певзнер Я.М. Теория устойчивости автомобиля / Я.М. Певзнер. – М. : Машгиз, 1947. – 156 с.
11. Фаробин Я.Е. К вопросу о методике определения оптимальных углов поворота управляемых колес четырехосных автомобилей / Я.Е. Фаробин // Автомобильная промышленность. – 1969. – № 2. – С. 23 – 27.
12. Литвинов Л.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.
13. Литвинов Л.С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств : [учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство»] / А.С. Литвинов, Я.И. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.

14. Антонов Д.А. Расчет устойчивости движения многоосных автомобилей / Д.А. Антонов. – М. : Машиностроение, 1984. – 168 с.
15. Хачатуров А.А. Динамика системы «дорога – шина – автомобиль – водитель» / А.А. Хачатуров. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.
16. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория. [учеб. для вузов] / А.И. Гришкевич. – Мн. : Высш. шк., 1986. – 208 с.
17. Лобас Л.Г. Механика многосвязных систем с качением / Л.Г. Лобас. – К. : Наукова думка, 2000. – 270 с.
18. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.
19. Лобас Л.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л.Г. Лобас, В.Г. Вербицкий. – К. : Наукова думка, 1990. – 232 с.
20. Сахно В.П. Курсова стійкість двохланкового автопоїзда при русі заднім ходом / В.П. Сахно, Б.Г. Васильєв, С.В. Гейко // Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України. – 2000. – Вип. 3. – С. 94 – 95.
21. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля : [навч. посіб.] / В.П. Волков. – Х. : ХНАДУ, 2003. – 292 с.
22. Подригало М.А. Определение радиусов инерции автомобиля на стадии его проектирования / М.А. Подригало, В.П. Волков // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 19 – 22.
23. Повышение устойчивости и управляемости колесных машин в тормозных режимах / [Е.Е. Александров, В.П. Волков, Д.О. Волонцевич и др.] ; под ред. Д.О. Волонцевича. – Х. : НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.
24. Четаев Н.Г. Устойчивость движения / Н.Г. Четаев. – [4-е изд., испр.]. – М. : Наука, 1990. – 175 с.
25. Макаров В.А. Анализ методов контроля эксплуатационного состояния эластичных пневматических шин / В.А. Макаров, В.Н. Дугельный // Автошляховик України. – 1999. – № 3. – С. 12 – 14.
26. Кнороз В.И. Шины и колеса / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников. – М. : Машиностроение, 1975. – 184с.

АНОТАЦІЯ

на наукову роботу під шифром «рух 1»

Актуальність. Використання великої множини автомобілів в інтенсивних транспортних потоках обумовлює необхідність діагностування та регулювання курсової стійкості руху (КСР) під час їх експлуатації з раціональними періодичністю та точністю. Періодична перевірка технічного стану (ТС) рушія виконується при проведенні ТО: на лінії перевірки ходових властивостей, а також вимірювання остаточної висоти виступів протектору. Тому дослідження КСР – це актуально для забезпечення безпеки руху авто.

Мета. Забезпечення безпеки руху автомобіля шляхом управління його курсовою стійкістю руху.

Завдання наукової роботи. 1. Проаналізувати напрями забезпечення курсової стійкості автомобіля. 2. Проаналізувати напрями забезпечення курсової стійкості автомобіля.

Методи дослідження. У роботі застосовано FEM program (для Continental SportContact 2 225/50/R17, навантажена сила 2750 N).

Загальна характеристика наукової роботи. Загальна методика досліджень дозволила визначити, що при збільшенні нормальної сили нормальне навантаження на плече протектора збільшується, яка впливає на безпеку руху та розглянути напрями забезпечення курсовою стійкістю руху.

Робота обсягом 29 сторінок має 14 рисунків та 2 таблиці. У роботі використано 26 літературних джерел.

Ключові слова: легковий автомобіль, курсова стійкість руху, технічний стан, безпека руху.